

## ROAD SHAPE MEASURING INSTRUMENT

Patent Number: JP6020189  
Publication date: 1994-01-28  
Inventor(s): NOSO KAZUNORI  
Applicant(s): NISSAN MOTOR CO LTD  
Requested Patent: ☐ JP6020189  
Application Number: JP19920171240 19920629  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G08G1/00 ; G01B11/24 ; G06F15/62 ; G08G1/16  
EC Classification:  
Equivalents: JP2917681B2

### Abstract

**PURPOSE:** To provide a road shape measuring instrument capable of measuring precisely the three-dimensional shape data of a road at high speed by generating a three-dimensional road model by a multi-order curve while considering a condition that the posture of a camera of an image pickup means mounted on a vehicle varies because of the travel of the vehicle.

**CONSTITUTION:** The road shape of the front of the traveling direction of the vehicle is detected from a picture taken by the camera by a preprocessing part 13, and simultaneously, the three-dimensional road model defined on the three-dimensional coordinates on the basis of a three-dimensional curve parameter is calculated in a road model generating part 15, and this three-dimensional road model is converted into the picture coordinates on the basis of the posture parameter of the camera in a coordinate converting part 17, and matching to deal with a line is executed in a matching part 19 dealing with the line by comparing the road shape and the coordinate-converted three-dimensional road model with each other, and misalignment between the both is detected, and the variation of the three-dimensional curve parameter and the variation of the posture parameter are inferred from this misalignment by a parameter inferring part 21, and each parameter is updated by a parameter updating part 23.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**BEST AVAILABLE COPY**

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 8 G 1/00	J	2105-3H		
G 0 1 B 11/24	Z	9108-2F		
G 0 6 F 15/62	3 8 0	9287-5L		
	4 1 5	9287-5L		
G 0 8 G 1/16	D	2105-3H		

審査請求 未請求 請求項の数1(全 15 頁)

(21)出願番号 特願平4-171240

(22)出願日 平成4年(1992)6月29日

(71)出願人 000003997

日産自動車株式会社

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(72)発明者 農宗 千典

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内

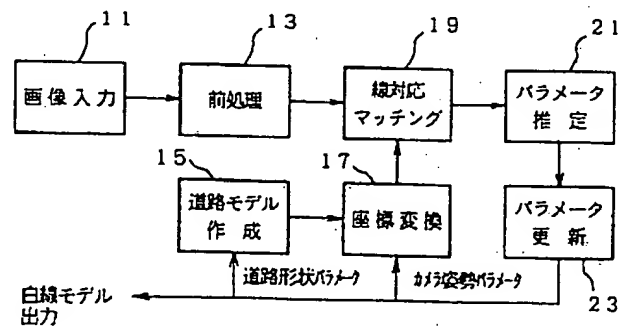
(74)代理人 弁理士 三好 保男 (外1名)

## (54)【発明の名称】 道路形状計測装置

## (57)【要約】

【目的】 車両に搭載した撮像手段であるカメラの姿勢が車両の走行により変動するという条件を考慮しながら、多次曲線による3次元道路モデルを作成して道路の3次元形状データを精度良く高速に計測し得る道路形状計測装置を提供する。

【構成】 カメラで撮像した画像から車両の進行方向前方の道路形状を前処理部13で検出するとともに、道路モデル作成部15において3次元曲線パラメータに基づいて3次元座標上で定義された3次元道路モデルを演算し、この3次元道路モデルを座標変換部17においてカメラの姿勢パラメータに基づいて画像座標に変換し、線対応マッチング部19において前記道路形状と座標変換された3次元道路モデルとを比較し線対応マッチングを行って、両者間の位置ずれを検出し、この位置ずれから3次元曲線パラメータの変化量および姿勢パラメータの変化量をパラメータ推定部21で推定し、パラメータ更新部23において各パラメータを更新している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 車両の進行方向前方の道路を撮像する撮像手段と、該撮像手段で撮像した画像から車両の進行方向前方の道路形状を検出する道路形状検出手段と、3次元曲線パラメータに基づいて3次元座標上で定義された3次元道路モデルを演算する道路モデル演算手段と、前記道路モデル演算手段で演算された3次元道路モデルを前記撮像手段の姿勢パラメータに基づいて画像座標に変換する座標変換手段と、前記道路形状検出手段で検出された前記道路形状と前記座標変換手段で座標変換された前記3次元道路モデルとを比較して、両者間の位置ずれを検出する位置ずれ検出手段と、該位置ずれ検出手段で検出した位置ずれから前記3次元曲線パラメータの変化量および前記撮像手段の姿勢パラメータの変化量を推定し、前記各パラメータを更新する推定更新手段とを有することを特徴とする道路形状計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば車両の自動操縦や予防安全運転等のために車両の進行方向前方の道路のカーブや勾配等の形状を計測する道路形状計測装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 車両の自動操縦や追突防止等の予防安全運転等のためには、車両の進行方向前方における道路の形状データである例えば車両の道路端からの距離、道路方向と車両の方向とのなすヨー角、道路のカーブ曲率である水平曲率、道路の勾配変化である垂直曲率等を精度良く高速に計測することが必要である。

【0003】 このような道路の3次元形状データは、車両に搭載したカメラで撮像した画像から推定しているが、この場合、従来はカメラの道路に対する姿勢のうち、カメラの高さ、ピッチ角、ロール角が一定であるという仮定のもとに道路の形状データを計測している。

【0004】 ところで、車両に搭載したカメラは、車両が走行すると、路面の凹凸等の影響でカメラ姿勢は変動するが、カメラ姿勢が変動すると、道路の3次元形状データにも誤差が含まれることになる。しかしながら、実際には車両が走行すると、路面の段差等の影響でカメラ姿勢は変動するので、道路の3次元形状データを精度良く求めるには、カメラの高さ、ピッチ角、ロール角等も変動するものとしてカメラ姿勢を正確に求めることが必要である。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上述したように、従来は、カメラの道路に対する姿勢のうち、カメラの高さ、ピッチ角、ロール角が一定であるとともに、またカーブの曲率も一定であるという仮定のもとに道路の3次元形状データを求めているので、車両が走行して、カメラ姿

データに誤差が含まれるとともに、また曲率の変化する緩急曲線部やS字カーブ等では推定誤差が避けられず、道路の形状データを正確に計測することができないという問題がある。

【0006】 本発明は、上記に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、車両に搭載した撮像手段であるカメラの姿勢が車両の走行により変動するという条件を考慮しながら、多次曲線による3次元道路モデルを作成して道路の3次元形状データを精度良く高速に計測し得る道路形状計測装置を提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、本発明の請求項1記載の道路形状計測装置は、図1に示すように、車両の進行方向前方の道路を撮像する撮像手段81と、該撮像手段で撮像した画像から車両の進行方向前方の道路形状を検出する道路形状検出手段83と、3次元曲線パラメータに基づいて3次元座標上で定義された3次元道路モデルを演算する道路モデル演算手段85と、前記道路モデル演算手段で演算された3次元道路モデルを前記撮像手段の姿勢パラメータに基づいて画像座標に変換する座標変換手段87と、前記道路形状検出手段で検出された前記道路形状と前記座標変換手段で座標変換された前記3次元道路モデルとを比較して、両者間の位置ずれを検出する位置ずれ検出手段89と、該位置ずれ検出手段で検出した位置ずれから前記3次元曲線パラメータの変化量および前記撮像手段の姿勢パラメータの変化量を推定し、前記各パラメータを更新する推定更新手段91とを有することを要旨とする。

## 【0008】

【作用】 本発明の請求項1記載の道路形状計測装置では、撮像手段で撮像した画像から車両の進行方向前方の道路形状を検出し、3次元曲線パラメータに基づいて3次元座標上で定義された3次元道路モデルを演算し、この3次元道路モデルを撮像手段の姿勢パラメータに基づいて画像座標に変換し、前記道路形状と座標変換された3次元道路モデルとを比較して、両者間の位置ずれを検出し、この位置ずれから3次元曲線パラメータの変化量および姿勢パラメータの変化量を推定し、各パラメータを更新している。

## 【0009】

【実施例】 以下、図面を用いて本発明の実施例を説明する。

【0010】 図2は、本発明の一実施例に係わる道路形状計測装置の全体構成を概略的に示すブロック図である。同図に示す道路形状計測装置は、車両の進行方向前方の道路を撮像すべく車両に搭載された撮像手段であるカメラ1、該カメラ1で撮像した画像信号を入力し、この入力された画像信号を画像処理する画像処理部3、および該画像処理部3で得られた計測結果である道路の3

づいて車両の制御および警報判断等を行う制御部5を有する。

【0011】図1に示す画像処理部3は、カメラ1で撮像された2車線道路の画像を連続的に入力され、この画像からカメラ1の高さ(Dy)、ヨー角( $\theta$ )、ピッチ角( $\phi$ )、ロール角( $\phi$ )道路端からの距離(Dx)という車速を除くカメラの5軸挙動パラメータに加えて、道路の水平曲線( $\rho$ )および道路の勾配を表す垂直曲線( $\mu$ )の道路形状パラメータを有する3次元道路構造を同時にオンラインで推定するものである。更に詳しくは、本実施例では、水平曲線( $\rho$ )および垂直曲線( $\mu$ )を道路形状パラメータとする3次元道路モデルを作成するとともに、1画面前のカメラの5軸挙動パラメータに基づいて前記3次元道路モデルを2次元画像に座標変換し、この変換された2次元道路モデルとカメラ1で撮像した道路の入力画像との対応関係から、道路形状パラメータとカメラの挙動パラメータの変化量を推定して更新している。なお、道路モデルは折れ線グラフで表され、道路モデルとカメラからの入力画像との対応は線対応としている。また、道路形状パラメータとカメラの挙動パラメータの各パラメータの変化量が小さいと仮定すると、線形方程式で推定でき、これにより線対応マッチングや方程式の作成および解法等の計算が簡単に行えるので、高速処理に適している。また、前方の道路曲線は車両の挙動に左右されないで、高精度で求めることができる。

【0012】図3は、図1に示す画像処理部3の詳細な

$$B(x, y) = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -A(x, y-1) - 2A(x+1, y-1) \\ + 4A(x-1, y) + 2A(x, y) \\ -A(x, y+1) - 2A(x+1, y+1) \end{pmatrix}$$
$$G(x, y) = \begin{cases} B(x, y) & \text{for } B(x, y) \geq 0 \\ 0 & \text{for } B(x, y) < 0 \end{cases}$$

このような演算式を使用することにより、カーブ路において遠方の白線はほとんど水平で、線幅も1画素以下で撮影されてもエッジを抽出することができる。

【0015】道路モデル作成部15および座標変換部17では、前時刻に推定される道路形状パラメータを基に3次元の道路モデルを作成し、また前時刻に推定されるカメラの挙動パラメータを用いて車両座標系に座標変換し、更に2次元の画像座標系に透視変換する。なお、本実施例では、道路のカーブや勾配のパラメータは時間的に変化するものとする。カメラ1の焦点距離は既知とし、また車両の速度成分は推定しないものとする。これは白線と平行に移動しても、見かけ上の白線位置は変化しないためである。従って、推定すべきパラメータは、前述したカメラ1の高さ(Dy)、ヨー角( $\theta$ )、ピッチ角( $\phi$ )、ロール角( $\phi$ )、道路端からの距離(Dx)のカメラの5軸挙動パラメータに加えて、水平曲率

構成を示すブロック図である。同図に示すように、画像処理部3は、前記カメラ1で撮像された画像を入力される画像入力部11、この画像入力部11から入力された画像情報から道路の白線の右端のエッジを検出する前処理部13、1画面前(前時刻)に推定された道路形状パラメータに基づいて3次元の道路モデルを作成する道路モデル作成部15、前時刻に推定されたカメラの挙動パラメータを用いて、道路モデル作成部15で作成された3次元の道路モデルを車両座標系に座標変換し、更に画像座標系に透視変換する座標変換部17、この座標変換部17によって画像座標系に座標変換された道路モデルと前記前処理部13で検出された道路のエッジ画像とを線対応関係で対応づける線対応マッチング部19、この線対応マッチング部19によって線対応づけられた画像の位置ずれを検出し、この位置ずれから道路形状パラメータおよびカメラの挙動パラメータの各パラメータの変化量を推定するパラメータ推定部21、およびこのパラメータ推定部21で推定されたパラメータを更新するパラメータ更新部23から構成されている。

【0013】前記前処理部13における前処理は、カメラ1で撮像した道路の入力画像から道路の白線のエッジを検出するために、入力画像をA(x, y)とし、エッジ画像をG(x, y)とした場合、次式の演算を行い、エッジ画像を検出する。

【0014】

【数1】

( $\rho$ )および垂直曲率( $\mu$ )を含む道路形状パラメータの7つのパラメータである。

【0016】まず、座標系について図4を参照して説明する。座標系としては、道路座標系(X, Y, Z)、車両座標系(U, V, W)および2次元の画像座標系(x, y)の3つの座標系を定義する。

【0017】道路座標系(X, Y, Z)は、現在車両が置かれている地点を基準に道路の形状を表すものであり、図4に示すように、道路中央の路面上に原点を取り、道路接続および路面と平行で車両の進行方向にZ軸、左方向に路面と平行にX軸、路面と垂直で上方にY軸を取る右手系である。なお、カメラ1のレンズの中心は常にZ=0の位置にあるものとする。

【0018】車両座標系(U, V, W)は、カメラ1のレンズの中心を原点とし、該レンズの主軸方向にW軸、撮像面と平行にU軸およびV軸を取る右手系である。

【0019】画像座標系  $(x, y)$  は、撮像面上で定義され、 $x$  軸が  $U$  軸と平行、 $y$  軸が  $V$  軸と平行で、それぞれ逆向きであるものとする。

【0020】また、車両座標系で表された3次元空間上の点  $P(U, V, W)$  は、画像上の画像座標系で次式のように透視変換されて表される。

【0021】

$$\begin{aligned} x &= -F \cdot U / W \\ y &= -F \cdot V / W \end{aligned} \quad (1)$$

但し、 $F$  はカメラ1のレンズの焦点距離である。

【0022】道路座標系と車両座標系との関係が車両の挙動、すなわちカメラ1の姿勢に対応する。以下、カメ

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} X - D_x \\ Y - D_y \\ Z \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$R = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{pmatrix}$$

$$R_{11} = \cos\theta \cos\phi - \sin\theta \sin\phi \sin\psi$$

$$R_{12} = -\cos\phi \sin\psi$$

$$R_{13} = \sin\theta \cos\psi + \cos\theta \sin\phi \sin\psi$$

$$R_{21} = \cos\theta \sin\psi + \sin\theta \sin\phi \cos\psi$$

$$R_{22} = \cos\phi \cos\psi$$

$$R_{23} = \sin\theta \sin\psi - \cos\theta \sin\phi \cos\psi$$

$$R_{31} = -\sin\theta \cos\phi$$

$$R_{32} = \sin\phi$$

$$R_{33} = \cos\theta \cos\phi$$

(3)

次に、道路モデル作成部15で作成される道路モデルについて説明する。

【0025】道路は、横断曲線（カーブ）と縦断曲線（勾配）に分けて構造が決定されている。横断道路は曲率一定の円弧部、直線部、およびこれらを滑らかに結ぶための緩和曲線部によって定義される。また、縦断曲線は一定勾配である直線部を放物線によって滑らかに結ぶものとされている。

【0026】3次元の道路座標上では、横断曲線、縦断曲線ともに多次曲線によって近似される。そして、路面上に描かれた白線の道路座標系における座標は次式のように定義される。

【0027】

ラ1の道路端からの距離を  $D_x$ 、カメラ1の高さを  $D_y$ 、ヨー角を  $\theta$ 、ピッチ角を  $\phi$ 、ロール角を  $\psi$  で表す。

【0023】車両座標系は、まず道路座標系で  $(D_x, D_y, 0)$  だけ平行移動した後、ヨー角  $\theta$ 、ピッチ角  $\phi$ 、ロール角  $\psi$  の順で回転させる。なお、ヨー角  $\theta$  は、 $W$  軸を  $XZ$  平面に射影した時の  $Z$  軸とのなす角度であり、ピッチ角  $\phi$  は  $W$  軸と  $XZ$  平面との角度であり、ロール角  $\psi$  は  $W$  軸回りの回転角で  $U$  軸と  $XZ$  平面との角度である。回転マトリックスを  $R$  とすると、道路座標系で表された点は、次式により車両座標系へ変換される。

【0024】

【数2】

$$X = f(Z) = aZ^4 + bZ^3 + cZ^2 + B$$

$$Y = g(Z) = dZ^3 + eZ^2 \quad (4)$$

ここで、 $B$  は、道路中心から白線までの距離を表し、3車線道路の場合には、左の白線に対しては  $B$  は正の定数であり、中央に対しては0である。 $a \sim e$  は求める道路形状パラメータである。なお、水平方向の式  $f(Z)$  を4次式としたのは、S字カーブにも対応するためである。

【0028】また、道路の水平曲率  $\rho$  および垂直曲率  $\mu$  は、次式で表される。

【0029】

【数3】

$$\rho = \frac{f''(Z)}{(1 + f'(Z)^2)^{3/2}} = \frac{12aZ^2 + 6bZ + 2c}{(1 + (4aZ^2 + 3bZ + 2c)^2)^{3/2}}$$

$$\mu = \frac{g''(Z)}{(1 + g'(Z)^2)^{3/2}} = \frac{6dZ + 2e}{(1 + (3dZ^2 + 2eZ)^2)^{3/2}} \quad (4)'$$

特に、 $Z=0$ の付近の曲率は、水平曲率 $\rho=2c$ および垂直曲率 $\mu=2e$ である。

【0030】このようにして、 $N$ 点からなる道路モデルを作成する $Z_i$  ( $i=1 \sim N$ )を与えれば、白線の3次元座標を計算することができる。また、 $Z$ の地点の曲率を求めることも可能である。

【0031】上述した式(4)で示した道路形状パラメータ $a, b, c, d, e$ を前画面(前時刻)から得て、道路モデルを作成し、この道路モデルを前時刻におけるカメラ1の挙動パラメータに基づく車両座標系に変換する。そして、道路モデル上の各点が現画面(現時刻)でどう移動するかを観測することによって、車両座標系における挙動変動量および道路パラメータの変動量を求める。すなわち、道路モデル上の点 $(x, y)$ が現画面で $(\Delta x, \Delta y)$ だけ変動したとし、この変動 $\Delta x, \Delta y$ がカメラの挙動パラメータの変動と道路形状パラメータの変動とに起因すると考えて、各パラメータの変動量と $\Delta x$ および $\Delta y$ との関係を導く。なお、パラメータは各時刻毎に変動量を積分することになるが、モデルを基準

とした変動量であるので、誤差の蓄積はない。

【0032】パラメータの変動によって画像上の道路モデル上の点 $(x, y)$ が $(x', y')$ に移動したと考え、点の移動量を $(\Delta x, \Delta y)$ とすると、次式で表される。

【0033】

$$\begin{aligned} x' &= x + \Delta x \\ y' &= y + \Delta y \end{aligned} \quad (5)$$

カメラの挙動パラメータの変動を車両座標系での点の移動として考える。すなわち、車両座標系で挙動変動量を求め、前時刻の挙動パラメータと合成することにより、現時刻におけるカメラの挙動パラメータに変換し、次時刻で更に新たな車両座標系を作成する。なお、挙動変動量を道路座標系でなく、車両座標系で求めるのは、回転角が常に0からの変動となるため、近似の精度を維持しながら線形解を求められるからである。

【0034】車両座標系において、点 $P(U, V, W)$ が点 $P'(U', V', W')$ に移動するとすると、  
【数4】

$$\begin{pmatrix} U' \\ V' \\ W' \end{pmatrix} = S \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_U \\ D_V \\ 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$S = \begin{pmatrix} 1 & \gamma & -\alpha \\ -\gamma & 1 & \beta \\ \alpha & -\beta & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

で表される。なお、 $D_U, D_V$ は平行移動成分であり、 $\alpha, \beta, \gamma$ はそれぞれ $V$ 軸、 $U$ 軸、 $W$ 軸回りの回転角である。但し、各パラメータの値は、十分小さいものとし、 $\sin \delta = \delta, \cos \delta = 1, \sin \alpha = \alpha, \cos \alpha = 1, \sin \beta = \beta, \cos \beta = 1, \sin \gamma = \gamma, \cos \gamma = 1$ とすると共に、2次以上の項は無視し

た。

【0035】(6)式と(1)式とから、次式が得られる。

【0036】

【数5】

$$\begin{aligned} x &= -F \frac{U + \gamma V - \alpha W + D_U}{\alpha U - \beta V + W} \\ y &= -F \frac{-\gamma U + V + \beta W + D_V}{\alpha U - \beta V + W} \end{aligned} \quad (8)$$

各挙動パラメータの微小変動による画像座標の変動は、

(5)式のTaylor展開の1次の項から次式のように表される。

【0037】

【数6】

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{\partial x}{\partial D_U} \Delta D_U + \frac{\partial x}{\partial D_V} \Delta D_V + \frac{\partial x}{\partial \alpha} \Delta \alpha + \frac{\partial x}{\partial \beta} \Delta \beta + \frac{\partial x}{\partial \gamma} \Delta \gamma \\ \Delta y &= \frac{\partial y}{\partial D_U} \Delta D_U + \frac{\partial y}{\partial D_V} \Delta D_V + \frac{\partial y}{\partial \alpha} \Delta \alpha + \frac{\partial y}{\partial \beta} \Delta \beta + \frac{\partial y}{\partial \gamma} \Delta \gamma\end{aligned}$$

(8) 式から、 $\alpha, \beta, \gamma=0$ なる条件を近似的に計算すると、次式に示すようにカメラの挙動パラメータの変動分が得られる。

[0038]

【数7】

$$\begin{aligned}\Delta x &= -F \left( \frac{1}{W} \Delta D_U - \frac{W^2 + U^2}{W^2} \Delta \alpha + \frac{UV}{W^2} \Delta \beta + \frac{V}{W} \Delta \gamma \right) \\ \Delta y &= -F \left( \frac{1}{W} \Delta D_V - \frac{UV}{W^2} \Delta \alpha + \frac{W^2 + V^2}{W^2} \Delta \beta - \frac{U}{W} \Delta \gamma \right)\end{aligned}\quad (9)$$

次に、道路パラメータの変動分について考える。上述した(2)～(4)式から、

$$\begin{aligned}U &= R_{11}(X - D_x) + R_{12}(Y - D_y) + R_{13}Z \\ V &= R_{21}(X - D_x) + R_{22}(Y - D_y) + R_{23}Z\end{aligned}$$

$$X = f(Z), Y = g(Z)$$

であるので、これを(8)式に代入するとともに、また $\alpha, \beta, \gamma=0$ とにおいて

【数8】

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{\partial x}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial x}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial x}{\partial c} \Delta c + \frac{\partial x}{\partial d} \Delta d + \frac{\partial x}{\partial e} \Delta e \\ \Delta y &= \frac{\partial y}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial y}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial y}{\partial c} \Delta c + \frac{\partial y}{\partial d} \Delta d + \frac{\partial y}{\partial e} \Delta e\end{aligned}$$

を計算すると、次式に示すように道路パラメータの変動分が得られる。

[0039]

【数9】

$$\begin{aligned}\Delta x &= -\frac{F}{W^2} \{ (R_{11}W - R_{31}U)(Z^4 \Delta a + Z^3 \Delta b + Z^2 \Delta c) \\ &\quad + (R_{12}W - R_{32}U)(Z^3 \Delta d + Z^2 \Delta e) \} \\ \Delta y &= -\frac{F}{W^2} \{ (R_{21}W - R_{31}V)(Z^4 \Delta a + Z^3 \Delta b + Z^2 \Delta c) \\ &\quad + (R_{22}W - R_{32}V)(Z^3 \Delta d + Z^2 \Delta e) \}\end{aligned}\quad (10)$$

従って、(9)式と(10)式を加算すると、カメラの挙動パラメータと道路パラメータによる画像上での点の移動量の関係式が得られる。

[0040]

【数10】

$$\begin{aligned}
\Delta x = & -\frac{F}{W^2} \{ (R_{11}W - R_{31}U)(Z^4 \Delta a + Z^3 \Delta b + Z^2 \Delta c) \\
& + (R_{12}W - R_{32}U)(Z^3 \Delta d + Z^2 \Delta e) \\
& + W \Delta D_U - (W^2 - U^2) \Delta \alpha - UV \Delta \beta + VW \Delta \gamma \} \\
\Delta y = & -\frac{F}{W^2} \{ (R_{21}W - R_{31}V)(Z^4 \Delta a + Z^3 \Delta b + Z^2 \Delta c) \\
& + (R_{22}W - R_{32}V)(Z^3 \Delta d + Z^2 \Delta e) \\
& + W \Delta D_V - UV \Delta \alpha + W^2 + U^2 \Delta \beta - UW \Delta \gamma \}
\end{aligned} \tag{11}$$

次に、線対応マッチング部19における線対応マッチングについて説明する。

【0041】モデルを用いたカメラ姿勢の推定手法には、点对応と線対応とがあるが、本実施例では線対応、すなわち道路モデルにおける接線と画面中から抽出される白線の線成分とを対応づける。白線は滑らかな曲線であるので、点の対応は困難であるからである。

【0042】対応付けには画像の探索が必要であるが、ここでは同一x軸または同一y軸上を走査する。探索処理が簡単化できるため、高速化につながるからである。

x軸走査かy軸走査かの選択は、対応付けする線の傾きの大きさに応じて行う。

【0043】画像座標系における道路モデル上の点P(x, y)における接線の傾きを $\omega$ で表し、 $\omega$ を【数11】

$$\omega = \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial Z} / \frac{\partial x}{\partial Z}$$

で定義すると、 $\omega$ は次式で計算される。

【0044】

【数12】

$$\omega = \frac{\{R_{21}f'(Z) + R_{22}g'(Z) + R_{23}\}W - \{R_{31}f'(Z) + R_{32}g'(Z)Z + R_{33}\}V}{\{R_{11}f'(Z) + R_{12}g'(Z) + R_{13}\}W - \{R_{31}f'(Z) + R_{32}g'(Z)Z + R_{33}\}U}$$

$$f'(Z) = 4aZ^3 + 3bZ^2 + 2cZ$$

$$g'(Z) = 3dZ^2 + 2eZ$$

現時刻の白線は、点P付近の点P'(x', y')でモデルと同じ $\omega$ なる傾きを有すると仮定する。すなわち、傾きの変化はないものとする。前時刻で求められたモデルが現時刻で白線位置まで移動したと考える。この場合の道路モデルと白線との関係は図5に示すようになる。同一x軸上の移動量をpとし、同一y軸上の移動量をqとすると、 $\Delta x$ と $\Delta y$ との関係は、

$$\Delta x / p + \Delta y / q = 1$$

であり、更に

$$q / p = -\omega$$

であるから、

$$\Delta x - \Delta y / \omega - p = 0 \tag{13a}$$

または

$$-\omega \Delta x + \Delta y - q = 0 \tag{13b}$$

$$E_i = A_{1i} \Delta a + A_{2i} \Delta b + A_{3i} \Delta c + A_{4i} \Delta d + A_{5i} \Delta e$$

$$+ A_{6i} \Delta D_U + A_{7i} \Delta D_V + A_{8i} \Delta \alpha + A_{9i} \Delta \beta + A_{10i} \Delta \gamma - B_i \tag{14}$$

が得られる。上式は直線の座標軸方向の(見かけの)移動量と実際の移動量の関係を表す。 $|\omega|$ が大きい時(垂直に近い場合)は、(13a)式が使用され、 $|\omega|$ が小さい時(水平に近い場合)は、(13b)式が使用される。

【0045】道路モデル上のいくつかの点でP<sub>i</sub>(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)と $\omega_i$ を計算し、入力画像上における点との対応からp<sub>i</sub>またはq<sub>i</sub>を求め、最小二乗法を適用すれば、連立方程式が得られ、各パラメータの変化量が算出される。

【0046】評価誤差は、上述した(11)式および(13)式から次式で求められる。

【0047】

【数13】

但し

【数14】



$$A_v = \begin{cases} \frac{1}{W_i^2}((R_1 W_i - R_{31} U_i) Z_i^4 - \frac{1}{\omega_i} \frac{1}{W_i^2}((R_2 W_i - R_{31} V_i) Z_i^4 & \text{if } \omega_i \geq 1 \\ -\omega_i \frac{1}{W_i^2}((R_1 W_i - R_{31} U_i) Z_i^4 + \frac{1}{W_i^2}((R_2 W_i - R_{31} V_i) Z_i^4 & \text{if } \omega_i \leq 1 \end{cases}$$

$$A_{2i} = A_{1i} \frac{1}{Z_i}$$

$$A_{3i} = A_{1i} \frac{1}{Z_i^2}$$

$$A_{4i} = \begin{cases} \frac{1}{W_i^2}((R_{12} W_i - R_{32} U_i) Z_i^3 - \frac{1}{\omega_i} \frac{1}{W_i^2}((R_{22} W_i - R_{32} V_i) Z_i^3 & \text{if } \omega_i \geq 1 \\ -\omega_i \frac{1}{W_i^2}((R_{12} W_i - R_{32} U_i) Z_i^3 + \frac{1}{W_i^2}((R_{22} W_i - R_{32} V_i) Z_i^3 & \text{if } \omega_i \leq 1 \end{cases}$$

$$A_{5i} = A_{4i} \frac{1}{Z_i}$$

$$A_{6i} = \begin{cases} \frac{1}{W_i} & \text{if } \omega_i \geq 1 \\ -\omega_i \frac{1}{W_i} & \text{if } \omega_i \leq 1 \end{cases}$$

$$A_{7i} = \begin{cases} -\frac{1}{\omega_i} \frac{1}{W_i} & \text{if } \omega_i \geq 1 \\ \frac{1}{W_i} & \text{if } \omega_i \leq 1 \end{cases}$$

$$A_{8i} = \begin{cases} -\frac{W_i^2 - U_i^2}{W_i^2} + \frac{1}{\omega_i} \frac{U_i V_i}{W_i^2} & \text{if } \omega_i \geq 1 \\ \omega_i \frac{W_i^2 - U_i^2}{W_i^2} - \frac{U_i V_i}{W_i^2} & \text{if } \omega_i \leq 1 \end{cases}$$

$$A_{9i} = \begin{cases} \frac{U_i V_i}{W_i^2} - \frac{1}{\omega_i} \frac{W_i^2 + U_i^2}{W_i^2} & \text{if } \omega_i \geq 1 \\ -\omega_i \frac{U_i V_i}{W_i^2} + \frac{W_i^2 + U_i^2}{W_i^2} & \text{if } \omega_i \leq 1 \end{cases}$$

$$A_{10i} = \begin{cases} \frac{V_i}{W_i} + \frac{1}{\omega_i} \frac{U_i}{W_i} & \text{if } \omega_i \geq 1 \\ -(\omega_i \frac{V_i}{W_i} + \frac{U_i}{W_i}) & \text{if } \omega_i \leq 1 \end{cases}$$

$$B_i = \begin{cases} p_i/F & \text{if } \omega_i \geq 1 \\ q_i/F & \text{if } \omega_i \leq 1 \end{cases}$$

次に、本実施例の作用を説明する。

【0048】まず、道路モデル作成部15において、N点からなる道路モデルを作成する。そして、前時刻のカメラの挙動パラメータ(Dx, Dy, θ, φ, φ)の推定結果から、(3)式の変換行列を作成する。それから、前時刻の道路形状パラメータ(a, b, c, d, e)から(4)式に基づいて道路座標系(X, Y, Z)

刻の道路形状パラメータ(a, b, c, d, e)から

(4)式にZ=Z<sub>i</sub>(i=1~N)とおくことによって道路モデルの点列を作成する。次に、前時刻のカメラの挙動パラメータ(Dx, Dy, θ, φ, φ)により

(2)式で車両座標系(U, V, W)に変換し、更に

(1)式で画像座標系(x, y)に変換し、座標(x

1, y<sub>i</sub>)(i=1~N)を得る。また、(12)式で

換部17で行われる。

【0049】道路モデルから算出される値は、(14)式に現れている $Z_i, U_i, V_i, W_i, \omega_i$ および $x_i, y_i$  ( $i=1 \sim N$ )である。このうち、 $Z_i$ は道路座標上で例えば3メートル間隔と予め定めておく。すなわち、 $Z_i$ を与えれば、(14)式中の $A_{ri}$  ( $r=1 \sim 10$ )の値が定まる。次に、入力画像とのマッチングを行い、 $B_i$ を求める。

【0050】線対応マッチング部19は、画像入力部11を介してカメラ1から得られる入力画像であるエッジ画像とモデル点接続との線対応マッチングを行う。 $|\omega_i| \geq 1$ のとき(垂直に近い場合)は、各モデル点( $x_i, y_i$ )を中心に $x$ 軸方向に探索して、 $p_i$ を求め、 $|\omega_i| < 1$ のとき(水平に近い場合)は、 $y$ 軸方向に探索して、 $q_i$ を求める。

【0051】 $|\omega_i| \geq 1$ のときは、点( $x_i, y_i$ )を中心に幅 $M_x$ 、高さ $M_y$ なるウィンドウを考える。この中で、傾き $\omega_i$ の直線を発生させ、直線上のエッジ濃度の和が最も大きい直線を選択し、直線の $x$ 座標値と $x_i$ との差を $p_i$ とする。すなわち、

【数15】

$$C_i(\tau) = \sum_{j=-M_y/2}^{M_y/2} G(x_i + \tau + j\omega_i, y_i + j) \\ (\tau = -M_x/2 \sim M_x/2)$$

を求め、 $C_i(\tau)$ の最大値近傍で重心を求め、 $p_i$ とする。また、この時の $C_i(\tau)$ の値は確からしさを表すので、あらためて $C_i$ とおく。

【0052】また、 $|\omega_i| < 1$ の場合も同様に $q_i$ を求める。なお、幅 $M_x$ 、高さ $M_y$ については数画素が適当である。

【0053】以上のようにして、(14)式で示す評価誤差のすべての係数が求められるので、最小二乗法を適用することにより、各パラメータをパラメータ推定部2

$$E = \sum_{i=1}^N C_i E_i^2 + \sum_{r=1}^5 G_r E_{Gr}^2 + H_p E_p^2 + H_\mu E_\mu^2$$

を最小化するように上式を各変数で微分し、それぞれ0とおく。なお、 $H_p$ および $H_\mu$ は重み定数である。この

1において推定することができる。

【0054】ここで、別の誤差尺度を考える。1つは道路パラメータが時間的に大きく変動しないことを利用するものである。すなわち、 $\Delta a \sim \Delta e$ は0に近いといえる。そこで、

$$E_{G1} = \Delta a, E_{G2} = \Delta b, E_{G3} = \Delta c, \\ E_{G4} = \Delta d, E_{G5} = \Delta e, E_{G5} \sim E_{G10} = 0 \quad (15)$$

として、それぞれの重みを $G_r$  ( $r=1 \sim 5$ )を定数として定義する。

【0055】もう1つの誤差は、曲率に関するものである。道路パラメータ $c$ と $e$ は $Z=0$ の地点の曲率の $1/2$ である。車両も速度が既知で、速度 $v$  (m (メートル) / 1画面時間) で走行しているとすると、 $t$ 画面前の $Z=v t$ の地点の曲率が現画面の $Z=0$ の曲率になるはずである。従って、

【数16】

$$E_p = c_{k-1} + \Delta c - \rho_k$$

$$E_\mu = e_{k-1} + \Delta e - \mu_k$$

但し

【数17】

$$\rho_k = \frac{1}{(T_2 - T_1 - 1)2} \sum_{t=T_1}^{T_2} \rho(vt)$$

$$\mu_k = \frac{1}{(T_2 - T_1 - 1)2} \sum_{t=T_1}^{T_2} \mu(vt)$$

とすることができる。なお、 $c_{k-1}$  および  $e_{k-1}$  はそれぞれ前画面の結果である。また、 $\rho_{k-1}$  および  $\mu_{k-1}$  は  $t$  画面前の結果から得られる曲率である。

【0056】各パラメータは最小二乗法で推定される。すなわち、

【数18】

ようにして、次に示す10元連立1次方程式

【数19】

$$(\Phi_{lm})(\Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta d, \Delta e, \Delta D_u, \Delta D_v, \Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma)^T = (\Theta_m)$$

$$\Phi_{lm} = \begin{cases} \sum_{i=1}^N C_i A_{li} A_{mi} & \text{for } l \neq m \\ \sum_{i=1}^N C_i A_{li} A_{mi} + G_m & \text{for } l=m=1, 2, 4 \\ \sum_{i=1}^N C_i A_{li} A_{mi} + G_m + H_p & \text{for } l=m=3 \\ \sum_{i=1}^N C_i A_{li} A_{mi} + G_m + H_\mu & \text{for } l=m=5 \end{cases}$$

$$\Theta_m = \begin{cases} \sum_{i=1}^N C_i A_{mi} B_i + H_p(\rho_k - c_{k-1}) & \text{for } m=3 \\ \sum_{i=1}^N C_i A_{mi} B_i + H_\mu(\mu_k - e_{k-1}) & \text{for } m=5 \\ \sum_{i=1}^N C_i A_{mi} B_i & \text{otherwise} \end{cases}$$

が作成される。ここで、 $l$  ( $L$ の小文字)は1~10であり、 $m=1$ ~10である。

【0057】この10元連立1次方程式は容易に解くことができる。

【0058】以上のようにして、パラメータ推定部21において最小二乗法により各パラメータの変化量が計算されると、これらの結果を基にカメラの挙動パラメータ( $D_x, D_y, \theta, \phi, \phi$ )および道路形状パラメータ( $a, b, c, d, e$ )がパラメータ更新部23において更新される。なお、前時刻のパラメータを添字 $k-1$ で表し、更新されたパラメータを添字 $k$ で表す。

【0059】まず、道路形状パラメータ $a, b, c, d, e$ は、 $\Delta a \sim \Delta e$ をそのまま加えればよい。すなわ

$$\begin{pmatrix} U' \\ V' \\ W' \end{pmatrix} = SR \begin{pmatrix} X - D_x \\ Y - D_y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_u \\ D_v \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$= SR \left( \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -D_x \\ -D_y \\ 0 \end{pmatrix} \right) + (SR)^{-1} \begin{pmatrix} D_u \\ D_v \\ 0 \end{pmatrix}$$

となる。カメラの挙動パラメータの更新により、

$$(U, V, W) = (U', V', W')$$

とすればよい。(2)式と(16)式を比較することに

ち、次式に示すようになる。

【0060】

$$a_{(k)} = a_{(k-1)} + \Delta a, \quad b_{(k)} = b_{(k-1)} + \Delta b,$$

$$c_{(k)} = c_{(k-1)} + \Delta c, \quad d_{(k)} = d_{(k-1)} + \Delta d,$$

$$e_{(k)} = e_{(k-1)} + \Delta e$$

また、カメラの挙動パラメータ $D_x, D_y, \theta, \phi, \phi$ は、以下のように更新される。(6)式中のパラメータ

( $D_u, D_v, \alpha, \beta, \gamma$ )は $k-1$ においてすべて0

とみなせるので、 $D_u = \Delta D_u, D_v = \Delta D_v, \alpha = \Delta$

$\alpha, \beta = \Delta \beta, \gamma = \Delta \gamma$ とおく。(2)式を(6)式に

代入すると、

【数20】

(16)

より、

【数21】

$$R_{(k)} = SR_{(k-1)}$$

$$D_{X(k)} = D_{X(k-1)} - R_{1(k)} D_U - R_{21(k)} D_V$$

$$D_{Y(k)} = D_{Y(k-1)} - R_{12(k)} D_U - R_{22(k)} D_V$$

(17)

にて求められる。なお、 $R^{-1}=R^T$ なる関係式を用い

た。 $\theta_{(k)}$ 、 $\phi_{(k)}$ 、 $\phi_{(k)}$ は(2)式中の $R_{31(k)}$ 、

$R_{32(k)}$ 、 $R_{12(k)}$ から容易に求められる。

【0061】以上のようにして、各パラメータは更新されるが、出力は(4)'から求められる前方Zにおけるカーブと勾配のそれぞれの曲率、すなわち水平曲率

( $\rho$ )および垂直曲率( $\mu$ )、および車両の挙動、すなわちカメラの挙動パラメータ( $D_x$ 、 $D_y$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ )である。カメラの挙動パラメータのうち、道路に対する道路端からの距離 $D_x$ およびヨー角 $\theta$ については自動操縦や予防安全における車線逸脱警報に重要である。

【0062】図6は、上述した本発明の道路形状計測装置を利用した追突警報装置の構成を示すブロック図である。同図に示す追突警報装置は、カメラ1で撮像した車両の進行方向前方の画像を本発明の道路形状計測装置100に供給する。該道路形状計測装置100はカメラ1からの画像情報から車両の前方の道路形状および自車両の位置に関する情報を判断部53に供給する。

【0063】また、図6に示す装置は、前方の車両を検出し、該車両までの距離と方向を検出するものとして、スキャニングレーザレーダ51を使用しており、該スキャニングレーザレーダ51で検出した前車両の位置情報を前記判断部53に供給する。判断部53は、道路形状計測装置100から供給される道路形状および自車両の位置情報とスキャニングレーザレーダ51から供給される前車両の位置情報から前車両と自車両とが同じ車線か否かを判断するとともに、同じ車線であって、両車両の間の距離が所定値以下に近づいた場合、警報信号を警報装置55に供給し、例えばブザー、チャイム、音声等で警報信号を発生する。

【0064】なお、前車両が自車両と同じ車線を走行しているか否かの判断は、前車両の自車両に対する位置が( $X_s$ 、 $Y=0$ 、 $Z_s$ )として求まったとして、道路パラメータの水平情報、(4)式において $B=0$ 、すなわち

$$X_p = f(Z_s) = aZ_s^4 + bZ_s^3 + cZ_s^2$$

が道路中央のX座標であるから、

$X_p + B > X_s > X_p$  の場合は、左車線

$X_p - B < X_s < X_p$  の場合は、右車線

を走行していると判断できる。自車両の位置は $D_x$ で与

えられ、

$D_x > 0$  の場合には、左車線

$D_x < 0$  の場合には、右車線

である。そして、同一車線を走行していて、かつ $Z_s$ が所定の距離以下まで近づいた場合に、上述したように警報を発生すればよい。なお、例えば $X_s < X_p + B$ (車線幅)の場合には、路側帯の障害物と判断できる。S字道路でも正確な判断を行うことができる。

【0065】図7は、上述した本発明の道路形状計測装置を利用した車線逸脱警報装置の構成を示すブロック図である。同図に示す車線逸脱警報装置は、カメラ1で撮像した車両の進行方向前方の画像を本発明の道路形状計測装置100に供給する。該道路形状計測装置100はカメラ1からの画像情報から車両の前方の道路形状および自車両の位置に関する情報を判断部57に供給する。また、該判断部57には、車両の方向指示器であるウインカ59からの方向変更信号が供給されている。今、例えば車両が左車線を走行しているとして、車両が例えばウインカ59を出さずに、上述した道路端からの距離 $D_x$ が $B$ より大きくなったり( $D_x > B$ )、またはゼロよりも小さくなった場合( $D_x < 0$ )には、自車線を逸脱したと見なし、判断部57は警報装置55に警報信号を供給し、該警報装置55から警報を発生する。

【0066】更に、自動操縦について説明すると、本道路形状計測装置では、自車両の位置の曲率と前方の曲率が同時に求められるので、予め速度を制御する自動操縦が可能となる。例えば、次のように制御することができる。

【0067】

|前方の水平曲率| > |現在の水平曲率| → 減速

|前方の水平曲率| < |現在の水平曲率| → 加速

前方の垂直曲率(勾配) > 現在の垂直曲率(勾配) → 加速(スロットル開)

前方の垂直曲率(勾配) < 現在の垂直曲率(勾配) → 減速(スロットル閉)

また、例えば、ピッチ角 $\phi$ 、ロール角 $\phi$ 、高さ $D_y$ の変動が大きい場合には、減速すること等も考えられる。乗り心地のフィードバックと言える。

【0068】また、操舵制御は、例えば

(1) 現在の曲率に比例した操舵角

$$\Phi_{k1} = K \cdot \rho$$

(2) ヨー角が正の場合には左に操舵

$$\Phi_{k2} = \Phi_{k-1} - \delta$$

(3) ヨー角が負の場合には右に操舵

$$\Phi_{k3} = \Phi_{k-1} + \delta$$

(4)  $D_x$ が所定値より大きい場合右に操舵

$$\Phi_{k4} = \Phi_{k-1} + \delta$$

(5)  $D_x$  が所定値より小さい場合左に操舵  $\Phi_{k5} = \Phi_{k-1} - \delta$

とし、 $\Phi_{k1} \sim \Phi_{k5}$  を平均した操舵角に設定すればよい。

て、緩やかな曲率を仮定しているが、この(4)式は、一般式として次のように表される。

【0069】なお、前記実施例で説明した道路座標系 (X, Y, Z) における道路モデルを定義した(4)式では、道路モデルは画像で観測できる範囲、すなわち前方100メートル位までを近似できればよいものとし

【0070】

【数22】

$$\begin{aligned} X &= f(Z, a_m) = \sum_{m=2}^{M_a} a_m Z^m + L_w \\ Y &= g(Z, b_m) = \sum_{m=2}^{M_b} b_m Z^m \end{aligned} \quad (4-T)$$

また、(6)式は次式のようにしてもよい。

【数23】

【0071】

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = SR \begin{pmatrix} X - D_x \\ Y - D_y \\ Z \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} 1 & \gamma & -\alpha \\ -\gamma & 1 & \beta \\ \alpha & -\beta & 1 \end{pmatrix} \quad (6-T)$$

更に、(14)式で示した評価誤差は次式のように一般式で表され、係数 $A_{\omega}$ 、 $B_{\omega}$ は表1に示されるものとなる。

【0072】

【数24】

$$\begin{aligned} E_{\text{MODEL}} &= \sum_{i=1}^N C_i \{ A_{DX(i)} \Delta D_x + A_{DY(i)} \Delta D_y + A_{\alpha(i)} \Delta \alpha \\ &\quad + A_{\beta(i)} \Delta \beta + A_{\gamma(i)} \Delta \gamma + \sum_m A_{a(m)(i)} \Delta a_m \\ &\quad + \sum_m A_{b(m)(i)} \Delta b_m - B_{(i)} \}^2 \end{aligned} \quad (14-T)$$

【表1】

	$ \omega_i  \geq T_{\omega}$	$ \omega_i  < T_{\omega}$
$A_{DX(i)}$	$\{R_{31}(-U_i + V_i / \omega_i) + R_{11}W_i - R_{21}W_i / \omega_i\} / W_i^2$	$\{R_{31}(U_i \omega_i - V_i) - R_{11}W_i \omega_i + R_{21}W_i\} / W_i^2$
$A_{DY(i)}$	$\{R_{32}(-U_i + V_i / \omega_i) + R_{12}W_i - R_{22}W_i / \omega_i\} / W_i^2$	$\{R_{32}(U_i \omega_i - V_i) - R_{12}W_i \omega_i + R_{22}W_i\} / W_i^2$
$A_{\alpha(i)}$	$\{U_i^2 + W_i^2 - U_i V_i / \omega_i\} / W_i^2$	$\{-(U_i^2 + W_i^2) \omega_i + U_i V_i\} / W_i^2$
$A_{\beta(i)}$	$\{-U_i V_i + (V_i^2 + W_i^2) / \omega_i\} / W_i^2$	$\{U_i V_i \omega_i - V_i^2 - W_i^2\} / W_i^2$
$A_{\gamma(i)}$	$-(V_i + U_i / \omega_i) / W_i$	$[V_i \omega_i + U_i] / W_i$
$A_{a(m)(i)}$	$\{R_{31}(U_i - V_i / \omega_i) - R_{11}W_i + R_{21}W_i / \omega_i\} Z_i^m / W_i^2$	$\{R_{31}(U_i \omega_i + V_i) + R_{11}W_i \omega_i - R_{21}W_i\} Z_i^m / W_i^2$
$A_{b(m)(i)}$	$\{R_{32}(U_i - V_i / \omega_i) - R_{12}W_i + R_{22}W_i / \omega_i\} Z_i^m / W_i^2$	$\{R_{32}(U_i \omega_i + V_i) + R_{12}W_i \omega_i - R_{22}W_i\} Z_i^m / W_i^2$
$B_{(i)}$	$p_i / F$	$q_i / F$

として扱われる。

【0073】

$$R_{(k)} = SR_{(k-1)}$$

(16-T)

【数26】

$$D_{X(k)} = D_{X(k-1)} + \Delta D_X, D_{Y(k)} = D_{Y(k-1)} + \Delta D_Y$$

(17-T)

【0074】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、撮像手段で撮像した画像から車両の進行方向前方の道路形状を検出し、3次元曲線パラメータに基づいて3次元座標上で定義された3次元道路モデルを演算し、この3次元道路モデルを撮像手段の姿勢パラメータに基づいて画像座標に変換し、前記道路形状と座標変換された3次元道路モデルとを比較して、両者間の位置ずれを検出し、この位置ずれから3次元曲線パラメータの変化量および姿勢パラメータの変化量を推定し、各パラメータを更新しているので、比較的簡単な数式で表されるため、少ない計算量で高速かつ精度良く各パラメータの推定を行い、車両前方の道路形状を適確に計測することができる上に、S字カーブや曲率の変化するカーブにおいても精度良く道路形状を求めることができる。更に、車両の地点での曲率や道路形状も推定されるので、自車両位置の推定結果も高精度である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のクレーム対応図である。

【図2】本発明の一実施例に係わる道路形状計測装置の全体構成を概略的に示すブロック図である。

【図3】図2に示す道路形状計測装置に使用される画像処理部の詳細な構成を示すブロック図である。

【図4】図3に示す画像処理部に使用される座標系を示す説明図である。

【図5】図3に示す線対応マッチング部における道路モデルと白線との線対応マッチングを示す説明図である。

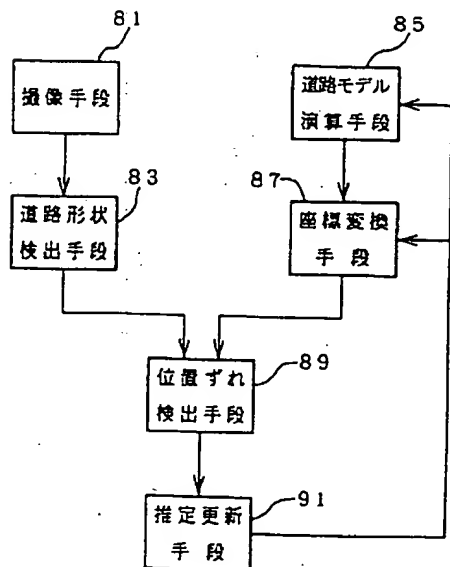
【図6】本発明の道路形状計測装置を利用した追突警報装置の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の道路形状計測装置を利用した車線逸脱警報装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 1 カメラ
- 3 画像処理部
- 5 制御部
- 11 画像入力部
- 13 前処理部
- 15 道路モデル作成部
- 17 座標変換部
- 19 線対応マッチング部
- 21 パラメータ推定部
- 23 パラメータ更新部

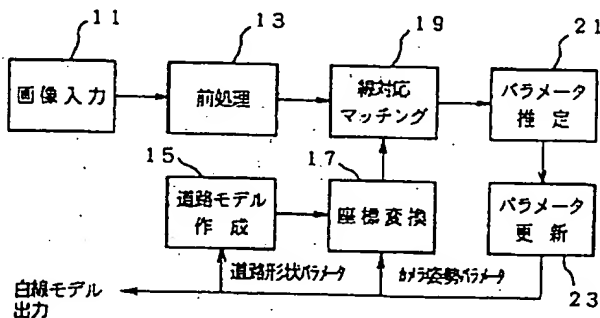
【図1】



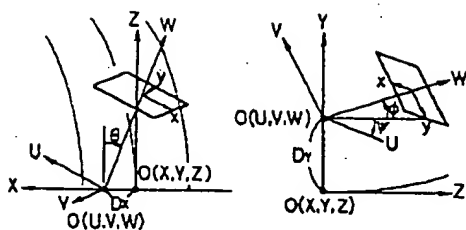
【図2】



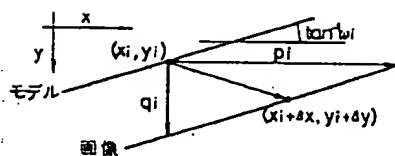
【図3】



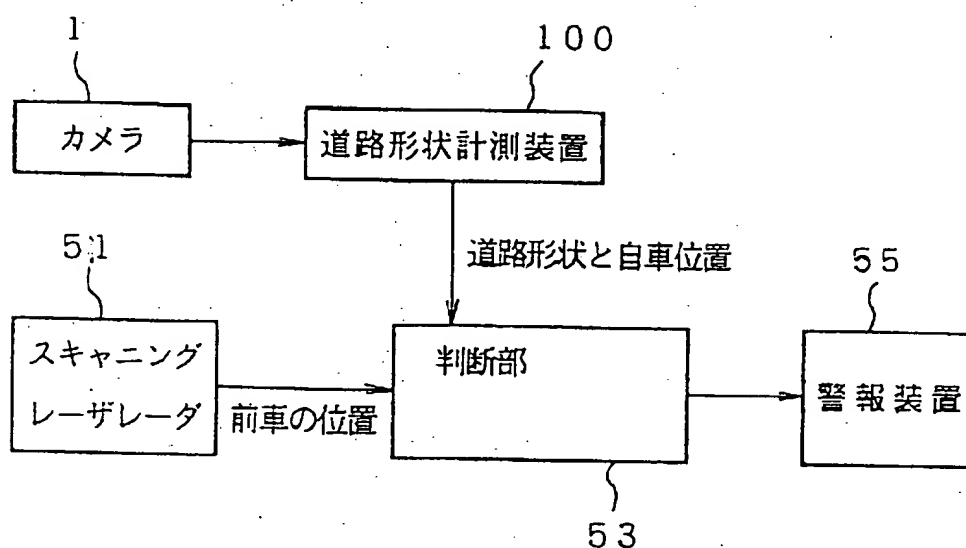
【図4】



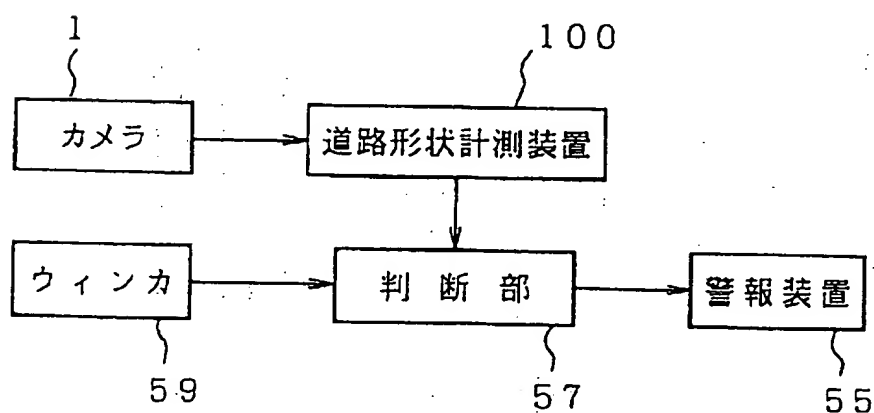
【図5】



【図6】



【図7】



【手続補正書】

【提出日】平成4年7月27日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【0015】道路モデル作成部15および座標変換部17では、前時刻に推定される道路形状パラメータを基に3次元の道路モデルを作成し、また前時刻に推定されるカメラの挙動パラメータを用いて車両座標系に座標変換し、更に2次元の画像座標系に透視変換する。なお、本

に変化するものとする。カメラ1の焦点距離は既知とし、また車両の速度成分は推定しないものとする。これは白線と平行に移動しても、見かけ上の白線位置は変化しないためである。従って、推定すべきパラメータは、前述したカメラ1の高さ ( $D_y$ )、ヨー角 ( $\theta$ )、ピッ

チ角 ( $\phi$ )、ロール角 ( $\phi$ )、道路端からの距離 ( $D_x$ ) のカメラの5軸挙動パラメータに加えて、水平曲率 ( $\rho$ ) および垂直曲率 ( $\mu$ ) を含む道路形状パラメータである。



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**